

佐賀平野のクリークにおける風と波の関係

鶴丸 雅之*・原口 智和*・加藤 治**・西牟田智弘***

(*水環境工学研究室, **佐賀大学名誉教授, ***佐賀県立高志館高等学校)

平成22年10月8日 受理

Relation between Wind and Wave characteristics on Channel in Saga Plane

*Masayuki TSURUMARU, *Tomokazu HARAGUCHI, **Osamu KATO, ***Tomohiro NISHIMUTA

(*Laboratory of Water Environmental Engineering, **Professor Emeritus, Saga University,

***Koshikan Senior High School)

Accepted October 8, 2010

Summary

Collapse of channel wall has become a problem in Saga plane, and it must be caused by the wind wave. The relation between wave characteristics such as significant wave height and wind speed was examined on a channel extending north and south. Significant wave height varied with wind speed depending on wind direction. Waves grew linearly with wind speed and the relation between fetch of wind and significant wave height and period was expressed with the Wilson type simplified prediction form for a period in which wind direction was parallel to channel.

Key words : wind speed, wind direction, significant wave height, significant wave period, channel

緒 言

有明海北岸の佐賀県鹿島市から佐賀県鳥栖市に広がる佐賀平野は、面積が約700km²であり、古くより水田稲作がさかんに行われている¹⁾。以前、農家の人たちは筑後川より「アオ取水」と呼ばれる方法で取水し、クリークに貯めて水を利用した。しかし、潮位の変動を利用して筑後川から取水するため、海水が混ざったり必要な量を取水出来なかったりするなど水の供給が不安定であった。現在は、アオ取水は廃止され、農業用幹線水路が整備された。これにより安定して水を確保できるようになった。佐賀平野に張り巡らされたクリークは、総延長2000kmと言われ、全国でも特有の風情を醸し出している。クリークの貯水量は2100万m³であり、農地にとってクリークは、用水源であるほか、用水路、排水路、貯水池、調整池等多くの機能を持つものになった²⁾。かつて、クリークの水は集落の生活用水、雑用水、農業用水としても長い間利用されてきた。しかし、現在では、農業用排水路としての機能のみが目立っている。さらに、ニッポンバラタナゴ、コイ、フナなどの魚の他に、トンボなどが生息するなど、貴重な生態系空間となっている。近年、自然環境保全の必要性が高まり、現存するクリークの維持管理体制、活用法、生物資源の保全等の良好な水辺環境維持が問題となっている。

行政は農業の近代化を図るため、昭和50年から曲がりくねったクリークを1000~1500m間隔

に深く、広く、そして、直線に改修した²⁾。その多くが自然環境に配慮した土水路であった。近年、これらクリークの法面崩壊が発生している。この崩壊が進むと、クリーク沿いの道路だけでなく、農地、家屋等が崩壊する恐れがある。また、崩落によりクリーク内にたまった土砂で、大雨時に水を流すことができず、広い範囲で湛水被害が発生する恐れもある³⁾。従って、クリークの法面保護は、地域住民の生命、生活を守ることにも深く関係している。

クリーク法面崩壊の原因の一つに、風波による侵食作用が考えられている。実際にクリーク地帯を踏査したところ、幅の小さいクリークより幅の大きいクリークの法面崩壊や侵食の程度は大きかった。水路の幅が大きいほど風による波が起きやすくなり、法面の崩落被害の大きさもそれと比例していると考えられる。

本研究では、クリークの波と風の関係を調査した。また、吹送距離と有義波高および有義周期の関係を表わす Wilson 型簡便推算式の適用性を検討した。

調 査 方 法

佐賀県神崎市千代田町の国営クリーク（水路幅：28.5m，水面幅：約23m，水深：約2.0m）に足場（長さ：6 m，深さ：4 m）を設け，平成21年2月から同年6月にかけて9回，波高と風向，風速を同時観測した（図1，図2，図3）。観測日については，様々な風向，風速となるよう，当日の風況から判断し決定した。このクリークの方位角（北を基準として，東側を正，西側を負とする）は -3 度である。観測対象のクリークについては，図2に示すとおり，現象が単純な直線水路を選定したが，観測地点から50mほど南側で西方向に直角に曲がっており，400mほど北側にある橋の部分で水路断面が急縮している。観測期間中，観測地点近辺で法面の崩壊は確認されなかった。また，観測地点の周辺はほとんどが水田であり，風をさえぎる高い構造物はない。なお，表1に示すとおり，観測地点に近い佐賀地方気象台における月平均風速は3月で最大であり，そのと

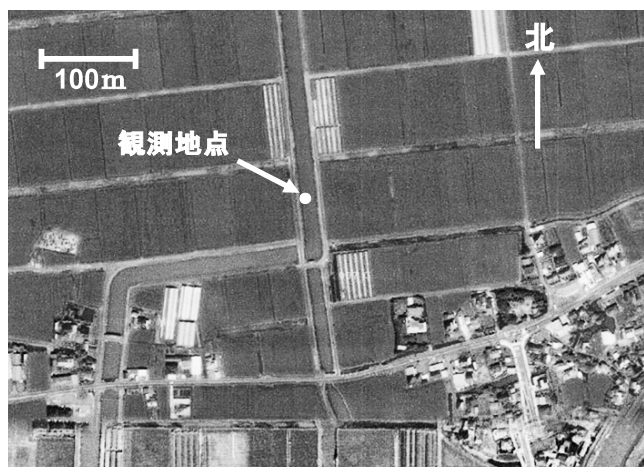


図1 観測地点付近の様子
(Google の航空写真⁴⁾を利用)



図2 風向風速の観測状況

きの最多風向は北東である⁵⁾。

波高の測定には容量式波高計を用い、0.1秒間隔でデータロガーに記録した。風向と風速については、水面より4.5m上空に固定したYOUNG風向風速計で測定された1分間の最大瞬間風速、平均風速ならびに最多風向を記録した。1回の観測は、波高計の設置から十分に時間が経過した後、約1時間行った。

一連の波高データより、ゼロアップクロス法を用いて、10分毎の最大波高、有義波高、および有義周期を求め、風向や風速との関係を調べた。一般に内湾、湖沼など限られた水域における風波を測定したり、外洋の波浪の概略値を見積もったりする際には、一定風速・固定風域の条件のもとで、波高や周期を簡単に見積もることができる有義波高法が有用である⁶⁾。わが国では、Wilson⁷⁾が観測値をもとにとりまとめた波高・周波数算定式が標準として用いられる。

Wilsonは風が吹送距離の水面

を十分長い時間吹き続けるときに発達する風波について多数の実測データをもとに半経験的な関係を提案している。



図3 波高の観測状況

表1 佐賀市における月別の最多風向と平均風速の平年値⁵⁾
(統計期間：最多風向 1971～2000年，平均風速 1975～2000年)

月	最多風向	平均風速 (m/s)
1	北北西	3.2
2	北北西	3.3
3	北東	3.8
4	北東	3.3
5	南	2.9
6	南	3.3
7	南	3.4
8	南	3.3
9	北東	3.4
10	北東	2.9
11	北	2.9
12	北北西	2.7

結果および考察

表2に観測日毎の平均風向と平均風速を表す。観測時の平均風向は南西(−135度)～東南東(111度)の範囲であり、平均風速は2.43m/s～9.39m/sの範囲であった。図4に9回の観測における、10分毎の平均風向、平均風速、有義波高の時間変化を示す。各観測日の特徴は以下のとおりである。

2月12日：風向の変動幅は8.7度と小さく、有義波高の時間変化も小さかった。最大瞬間風速は4.4m/sであり、最大波高は1.1cmであった。

表2 観測時の風向と風速

月日	平均風向	平均風速 (m/s)
2 / 12	南西	2.81
2 / 20	西北西	5.89
3 / 25	北北西	3.73
4 / 25	北西	5.33
5 / 27	東北東	4.49
5 / 29	北北東	9.39
5 / 30	東南東	2.58
5 / 31	北	5.18
6 / 6	北東	2.43

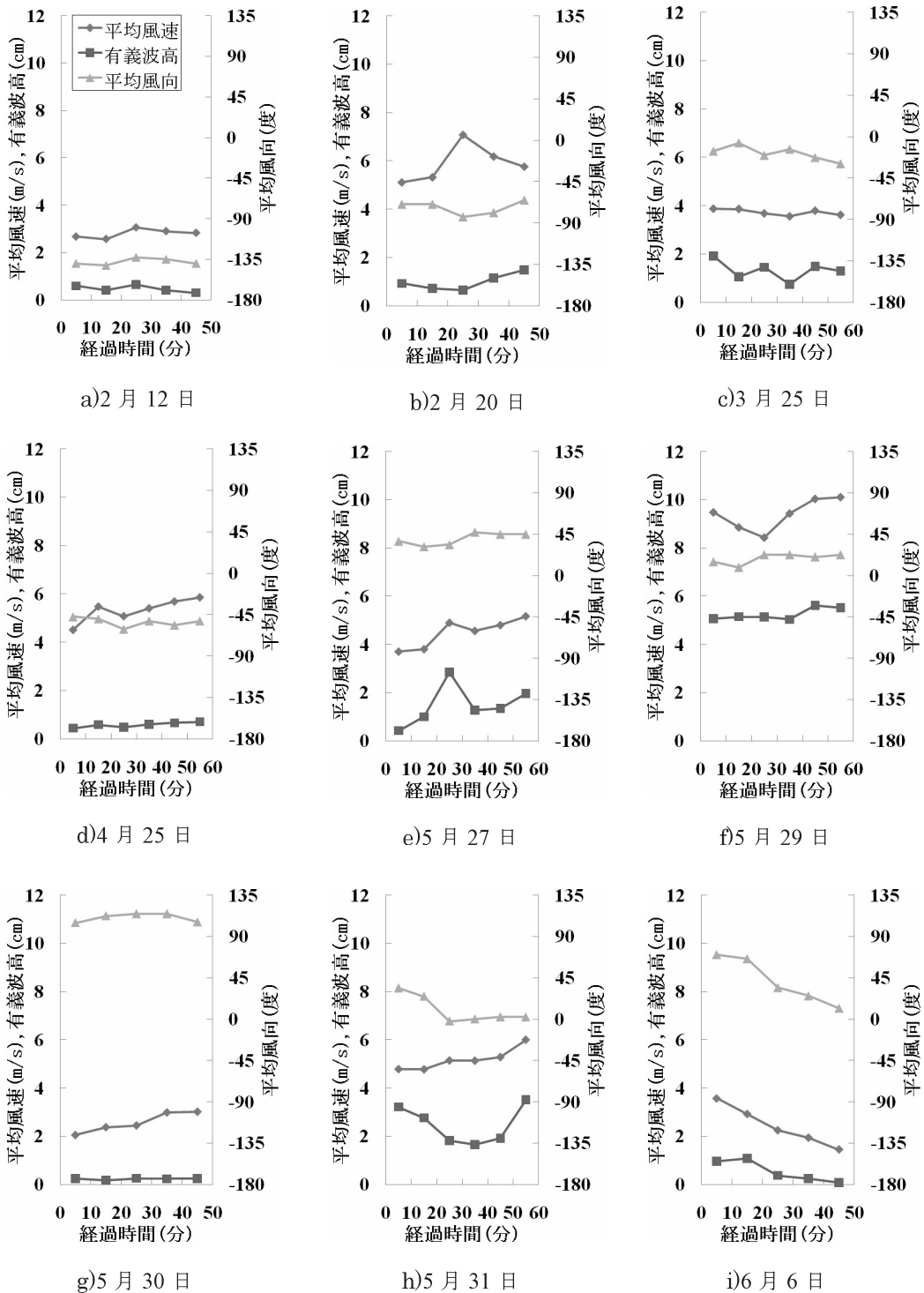


図4 平均風向, 平均風速および有義波高の時間変化
(風向は北を基準として, 東側を正, 西側を負で表わす)

- 2月20日：風向の変動幅は13.5度であった。観測開始から20～30分の間の10分平均風速が最大であったが、有義波高は最小値を示した。その後、10分平均風速は徐々に減少したが、有義波高は増大した。10分風速と有義波高の時間変動の傾向が異なるのは、風向の変化の影響を受けているものと考えられる。最大瞬間風速は10.9m/sであり、最大波高は2.0cmであった。
- 3月25日：風向の変動幅は17.1度であった。10分平均風速はほぼ一定で推移したが、有義波高は風向が北寄りになると減少し、西寄りになると増加した。最大瞬間風速は7.6 m/sであり、最大波高は2.8cmであった。
- 4月25日：風向の変動幅は11.6度であった。10分平均風速は観測開始直後から徐々に大きくなった。有義波高も10分風速の増大に伴って大きくなったが、1 cm前後と小さい。最大瞬間風速は9.4m/sであり、最大波高は1.4cmであった。
- 5月27日：風向の変動幅は11.1度であった。10分平均風速と有義波高はよく似た時間変動を示した。最大瞬間風速は9.2m/sであり、最大波高は4.7cmであった。
- 5月29日：風向の変動幅は8.5度であった。9回の観測で最も風速が大きく、10分平均風速は8 m/s以上を示した。10分平均風速の変動幅は1.7m/sと比較的大きいが、有義波高は5.0～5.6cmとほぼ一定であった。最大瞬間風速は14.3m/sであり、最大波高は8.1cmであった。最大波高観測時の10分平均風速は10m/sであった。
- 5月30日：風向の変動幅は13.7度であった。10分平均風速は2.1m/sから3.0m/sへと増大したが、有義波高は0.2cm程度で推移し変化はほとんどなかった。最大瞬間風速は4.6m/sであり、最大波高は0.4cmであった。
- 5月31日：風向の変動幅は17.8度であった。風向は観測開始から30分間、北東から北へと徐々に変化し、その後は変化が小さかった。10分平均風速は観測開始時から4.8m/sから6.0m/sへと増大し続けた。有義波高は観測開始直後から30分までは減少し、その後、増加に転じた。最大瞬間風速は8.9m/sであり、最大波高は5.4cmであった。
- 6月6日：風向の変動幅は24.1度であった。風向は東北東から北北東へと北寄りに変化し続けた。10分平均風速は3.6m/sから1.5m/sへと漸減し、有義波高もそれに伴って低下した。最大瞬間風速は4.5m/sであり、最大波高は1.9cmであった。

2月20日の平均風速は3月25日と5月27日に比べ大きい、最大波高はそれらに比べ小さい。4月25日と5月31日は平均風速がほぼ等しいが、最大波高は4 cmほど差がある。これらの違いは、風の主方向の影響によるものと推察される。

図5に全観測における10分平均風速と有義波高の関係を示す。2月20日ならびに5月31日のバラつきが大きいのは、比較的风速が大きい条件に加え、風向の変動幅も大きいためと考えられる。また、3月25日は10分平均風速の増加に対する有義波高

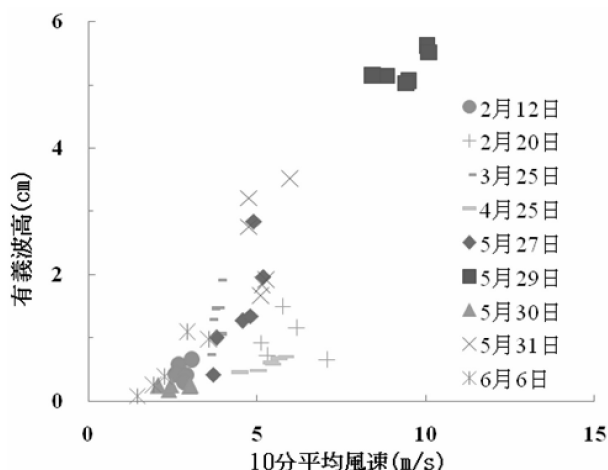


図5 風速と有義波高の関係（全観測データ）

の増加の割合が大きく、4月25日のそれは小さいが、これもまた風向の影響によるものと推察される。

図5に示した全データから、10分平均風向が北寄り（-30度～30度）のデータを抽出したものが図6である。このように、水路に平行な方向からの風が吹いた場合、有義波高は風速に比例して増大することが明らかになった。

次に、図6に示したデータについて、次式で表す Wilson 型簡便推算式の適用を試みた。

$$gH/U^2 = \alpha (gF/U^2)^\beta \quad (1)$$

$$gT/2\pi U = \gamma (gF/U^2)^\delta \quad (2)$$

ここで、 H は有義波高 (m)、 T は有義周期 (s)、 U は高度10mでの風速 (m/s)、 F は吹送距離 (m)、 g は重力加速度 (m/s^2) である。 U については、風速の鉛直方向の対数分布を仮定し、次式にて算定した。

$$U = u \times \ln(10/z_0) / \ln(h/z_0) \quad (3)$$

ここで、 z_0 は粗度長（水面で約 10^{-4}m ）、 u は高度 h (m) で実測した風速 (m/s) である。吹送距離については、クリークは幅が狭いため、波は水路壁面で反射を繰り返して観測点に到達することを考慮し、以下の方法で算定した。

$$F = F_0 / \cos \theta \quad (4)$$

ここで、 F_0 は観測地点より北側の橋までの距離 (=400m)、 θ は水路と風向のなす角度である。図7 a) に吹送距離と有義波高の関係を、b) に吹送距離と有義周期の関係を示す。外洋⁸⁾ ($\alpha = 0.0024$, $\beta = 1/2$, $\gamma = 0.0548$, $\delta = 1/3$) および調整池 ($\alpha = 0.00425$, $\beta = 0.354$, $\gamma = 0.103$, $\delta = 0.206$) での推算式による値とあわせて示している。式(1), (2)をクリークでの観測結果に適用すると、式中の α , β , γ , δ はそれぞれ 0.0021, 0.2426, 0.0516, 0.2867 が得られた。また、このときの決定係数は、それぞれ 0.439 と 0.923 であり、観測したクリークにおいては、吹送距離と有義波高の関係が外洋や調整池の場合に近く、また、有義波高に比べ有義周期のほうが吹送距離との相関が高いことが明らかになった。なお、クリーク、外洋、調整池で切片の値に差があるのは、吹送距離や水深等のさまざまな条件が原因と考えられるが、特定することはできなかった。

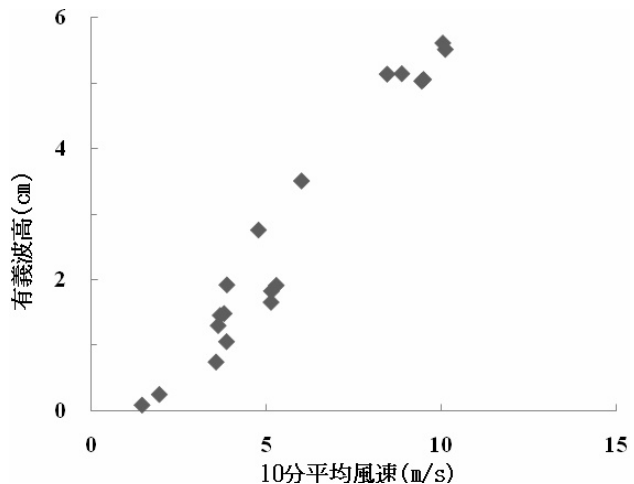
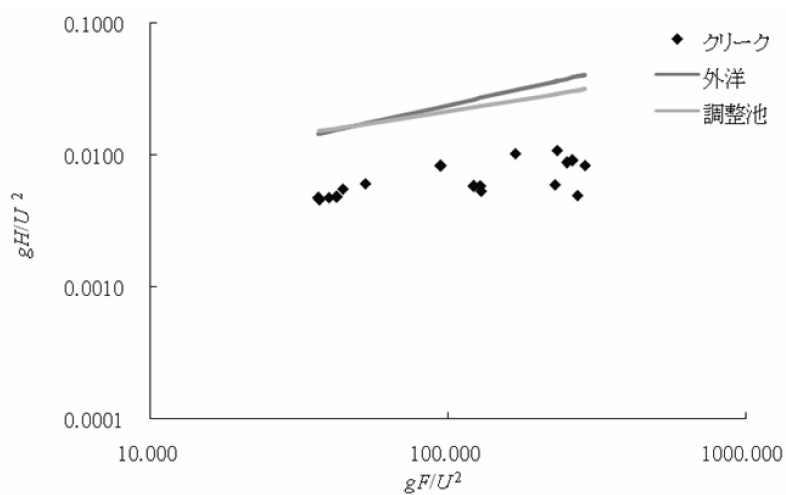


図6 風向が-30度～30度の際の風速と有義波高の関係

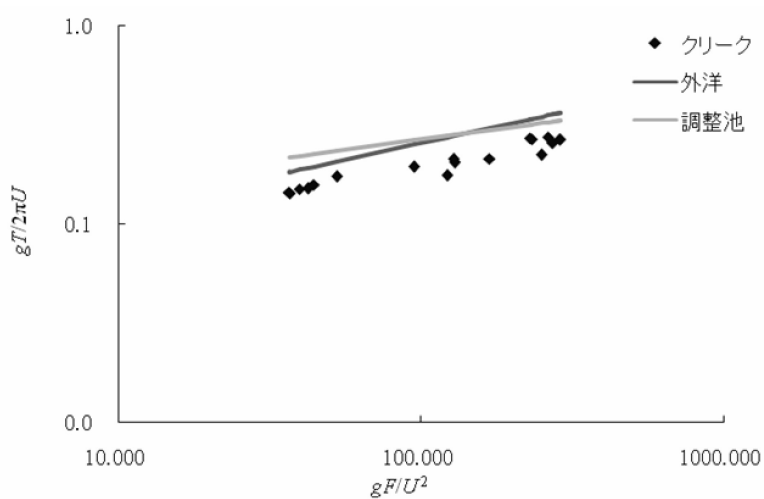
結 言

クリークの法面崩壊の一因とされる波について、現地観測により、風向および風速との関係を調べた結果、以下のことが明らかとなった。

- ・平均風速が10m/sのとき、最大波高8.1cmが観測された。
- ・風速と有義波高の関係は風向の影響を強く受けて変化し、クリークに平行な方向の風の場合、有義波高は風速に比例して増大した。
- ・クリークに沿った方向からの風の場合、有義波高および有義周期の吹送距離との関係に、Wil-



a) 有義波高



b) 有義周期

図7 吹送距離と有義波高，有義周期の関係

son 型簡便推算式の適用が可能であった。

今後，吹送距離の算定方法について理論的な検討が必要である。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、九州農政局筑後川下流農業事務所に多大なる協力を賜った。記して謝意を表す。

摘 要

佐賀平野においてクリーク法面崩壊が問題となっており、その一因として風波が考えられている。本研究では、南北方向に延びたクリークにおいて風と波の関係を調査した。平均風速と有義波高の関係は風向の影響を強く受けた。クリークに平行な方向の風の場合、有義波高は平均風速に比例して増大した。また、水路での波の進行過程を考慮した場合、有義波高および有義周期の吹走距離との関係は、Wilson 型簡便推算式でよく表わされることが示された。

参 考 文 献

- 1) 宮村美保, 原口智和, 加藤 治, 田中 明 (2008). 松葉およびホテイアオイの炭化物を用いたクリーク水の浄化. 佐賀大学農学部彙報93, 133-139.
- 2) 加藤 治 (2004). 佐賀平野のクリークの現状と課題. 2004年度農業土木学会大会講演要旨集, 102-103.
- 3) 九州農政局ホームページ. 筑後川下流左岸農地防災事業.
<http://www.maff.go.jp/kyusyu/seibibu/kokuei/16/question/index.html> (2010年7月28日アクセス)
- 4) Google マップ—地図検索. <http://maps.google.co.jp/> (2010年7月28日アクセス).
- 5) 気象庁ホームページ. 気象統計情報.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2010年7月28日アクセス).
- 6) 合田良実 (2002). Wilson 推算式による波浪の簡易計算について. 株式会社エコー 合田良実 論文一覧.
<http://www.ecoh.co.jp/comp/paper/pdf/wilsonsprediction.pdf> (2010年7月28日アクセス).
- 7) Wilson, B.W. (1965). Numerical prediction of ocean waves in the North Atlantic for December, 1959. *Deut. Hydrogr. Zeit, Jahrgang* 18, Heft 3, 114-130.
- 8) 土木学会編 (1971). 水理公式集, 土木学会, 東京. 475-492.